Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 5, Dec- Jan 2021, p. 701-716

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۵، آذر- دی ۱۴۰۰، ص. ۷۱۶ -۷۰۱

مقاله پژوهشی

بررسی امکان تولید شیرینی مسقطی رژیمی حاوی قارچ *گانودرما لوسیدیوم* با جایگزینی شکر و نشاسته گندم با سوکرالوز- ایزومالت و نشاسته سیب‌زمینی توسط روش سطح پاسخ

مرتضی حیدریان[۱]- محمد گلی[۲]*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۶

چکیده

طی سال‌های اخیر تقاضا برای محصولات غذایی رژیمی و در عین حال با ارزش غذایی بالا افزایش چشمگیری داشته است. شیرینی مسقطی یکی از شیرینی‌های سنتی ایران است که به دلیل میزان ساکارز و کالری بالا، مصرف آن برای افراد مبتلا به چاقی و دیابت محدودیت دارد. در این تحقیق به بررسی اثر جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و غلظت قارچ *گانودرما لوسیدیوم* به‌عنوان یک ترکیب عملگر بر روی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بافتی شیرینی مسقطی پرداخته شده است. به‌منظور بهینه‌یابی شرایط تولید مسقطی رژیمی غنی‌سازی شده از روش سطح پاسخ در دو سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد و طرح مرکب مرکزی در ۵ سطح جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰٪)، جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰٪) و قارچ *گانودرما لوسیدیوم* (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱٪) استفاده شد. نتایج حاصل از ویژگی‌های کیفی محصول منتخب (رطوبت، پروتئین، قند کل، ویتامین D، دانسیته، ویژگی‌های بافتی) و خصوصیات حسی آن در طول دوره نگهداری (۴۵ روز) ارزیابی و با نمونه شاهد در سطح اطمینان ۹۵ درصد مقایسه گردید. نتایج نشان داد، افزایش درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی موجب افزایش دانسیته و سفتی بافت گردید. افزایش دانسیته، سفتی و چسبندگی نیز در مقادیر بالاتر جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت مشاهده شد. ارتجاعیت در مقادیر بالاتر جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت و نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و همچنین غلظت‌های بالاتر *گانودرما لوسیدیوم* کاهش یافت. شرایط بهینه تولید مسقطی رژیمی غنی شده، شامل ۶۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۴۰٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و ۰/۴۶٪ *گانودرما لوسیدیوم* و ۵۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۳۶٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و ۰/۵۳٪ *گانودرما لوسیدیوم* معرفی گردید. مقایسه بین نمونه‌های بهینه و شاهد نشان داد که میزان پروتئین و ویتامین D نمونه‌های رژیمی تولیدی بالاتر از نمونه شاهد بود، و محتوی قند کل آنها نسبت به نمونه شاهد کاهش محسوسی داشت ($P<0.05$). همچنین، نمونه‌های بهینه از نظر ویژگی‌های حسی اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت ($P>0.05$).

واژه‌های کلیدی: مسقطی رژیمی، جایگزینی، سوکرالوز- ایزومالت، نشاسته سیب‌زمینی، *گانودرما لوسیدیوم*، بهینه‌یابی.

مقدمه

در سال‌های اخیر، آگاهی عموم مردم از تأثیر تغذیه مناسب بر سلامتی افزایش یافته است، لذا توجه تولیدکنندگان صنعت غذا بر تولید محصولات غذایی با ارزش تغذیه‌ای بالا و ویژگی‌های سلامتی‌بخش معطوف شده است. از طرفی، امروزه رویکرد مبنی بر غنی‌سازی مواد غذایی می‌تواند یکی از مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین راهکارها جهت پیشگیری از بروز سوء تغذیه محسوب گردد (امامی و همکاران، ۱۳۹۸). دیابت یکی از شایع‌ترین اختلالات متابولیسمی است که تقریبا نیمی از جمعیت جهان مبتلا به این بیماری هستند. افزایش شیوع بیماری‌های دیابت و چاقی در سراسر جهان از جمله ایران ناشی از تغییرات در شیوه زندگی، بی‌تحرکی، کاهش فعالیت‌های بدن و افزایش مصرف غذاهای پرچرب و غنی از قندها می‌باشد. نتایج منتشر شده توسط سازمان بهداشت جهانی حاکی از آن است که بیش از ۳۰ درصد ساکنین خاورمیانه دچار اضافه وزن می‌باشند و این مسئله در ایران، در بین کودکان و نوجوانان شایع‌تر است. از این‌رو، افرادی که دچار عدم تحمل گلوکز می‌باشند برای کنترل سطح قند خون و افراد سالم برای پیشگیری از بروز اختلالات متابولیکی مانند چاقی و پیامدهای آن به مصرف مواد غذایی کم کالری تشویق می‌شوند (Kroger *et al*., 2006). یکی از راهکارهای مورد تأیید جهت تولید محصولات غذایی سالم و مناسب برای گروه‌های خاص جامعه مانند بیماران دیابتی، مبتلایان به بیماری‌های قلبی- عروقی و یا افراد چاق، حذف ساکارز و جایگزین کردن آن با مخلوط شیرین کننده‌های

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.
۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی و مرکز تحقیقات لیزر و بیوفوتونیک در فناوریهای زیستی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: mgolifood@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i5.79890

طبیعی یا سنتزی کم کالری می‌باشد. محصولات کم کربوهیدرات[1] مناسب برای مصرف افراد مبتلا به دیابت، محصولاتی هستند که شاخص گلایسمی پایینی دارند به‌طوریکه افزایش گلوکز خون بعد از مصرف غذای حاوی مقدار مشخصی کربوهیدرات (قابل استفاده) در مقایسه با افزایش گلوکز خون بعد از خوردن همان مقدار کربوهیدرات به‌صورت گلوکز در فرد کمتر می‌باشد (Aston *et al*., 2008). با توجه به مصرف بالای شیرینی در ایران و با ذکر این نکته که انواع شیرینی، حاوی مقدار زیادی ساکارز است، تعیین فرمولاسیون‌های رژیمی برای این دسته از محصولات غذایی امری ضروری به‌شمار می‌رود. مسقطی یکی از شیرینی‌های سنتی ایران محسوب می‌شود که به‌دلیل بافت و طعم منحصر به فردی که دارد، دارای میزان مصرف بالایی در ایران می‌باشد. مسقطی نوعی حلوا است که جزء سوغات برخی از شهرهای ایران مانند لار، بوشهر، سیرجان، بندرعباس و کازرون به‌شمار می‌آید. از ترکیبات اصلی مورد استفاده در تهیه‌ای شیرینی می‌توان به نشاسته، شکر، گلاب، هل، روغن و زعفران اشاره نمود. مقادیر بالای پروتئین در این شیرینی موجب تقویت عمومی، افزایش سطح انرژی و عضلانی شدن بدن می‌شود (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۲).

ایجاد کیفیت مطلوب و مناسب در محصولات رژیمی، بدون استفاده از خواص عملکردی ساکارز امری دشوار است. در طی سال‌های اخیر، جایگزین شیرین‌کننده‌های سنتزی، غیرسمی با شیرینی بیشتر از ساکارز مانند آسسولفام، آسپارتام و سوکرالوز که توسط سازمان بهداشت جهانی و غذا و کشاورزی به‌عنوان یک ترکیب ایمن[2] شناخته شده‌اند، مورد توجه قرار گرفته‌اند. سوکرالوز[3]، یک دی‌ساکارید جایگزین و یک شیرین‌کننده مصنوعی است که از طریق کلره کردن انتخابی ساکارز در سه گروه هیدروکسیل اولیه آن تولید می‌شود و شامل وارونگی ترتیب کربن ۴، از گلوکز به گالاکتوز است. این شیرین کننده مصنوعی حدود ۶۵۰-۶۰۰ برابر شیرین‌تر از ساکارز است، که احتمالا به‌دلیل خاصیت هیدروفوبی بیشتر آن نسبت به ساکارز می‌باشد (قندهاری یزدی و همکاران، ۱۳۹۷). از آنجا که شیرین کننده‌های مصنوعی به تنهایی قادر به تأمین تمامی ویژگی‌های کاربردی ساکارز نمی‌باشند، می‌توان از ترکیباتی مانند قندهای الکل به‌عنوان عامل پرکننده[4] و بافت‌دهنده در فرمولاسیون محصولات رژیمی استفاده نمود. ایزومالت[5] یکی از قند الکل‌های حاصل از تجزیه ساکارز است که در سیستم گوارشی تنها ۵۰٪ آن متابولیزه شده و انرژی معادل ۲ کیلوکالری بر گرم فراهم می‌کند (Grotz & Munro, 2009). Savitha و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی

1 Low-Carb Product
2 GRAS
3 Sucralose
4 Filler
5 Isomalt

تأثیر جایگزینی ساکارز با سوکرالوز و مالتودکسترین بر خواص رئولوژیکی خمیر و کیفیت بیسکویت حاصل از آن پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که می‌توان ۳۰٪ شکر در فرمولاسیون بیسکویت را توسط مخلوطی از سوکرالوز و مالتودکسترین جایگزین کرد بدون آنکه ویژگی‌های کیفی محصول نهایی تغییر کند. همچنین در تحقیق دیگری به بررسی اثر جایگزینی ساکارز با مخلوط شیرین کننده‌های سوکرالوز- مالتودکسترین بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی شیرینی سنتی قطاب پرداخته شده است. نتایج تحقیق بیانگر آن است که بهترین سطح جایگزینی ساکارز در سطح ۵۰٪ می‌باشد (قندهاری یزدی و همکاران، ۱۳۹۷). جلی و همکاران (۱۳۹۲)، نیز در پژوهش خود در رابطه با بررسی تأثیر جایگزینی ساکارز توسط مخلوط سوکرالوز و ایزومالت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بیسکویت به این نتیجه دست یافتند که با کاهش میزان ساکارز و افزایش میزان مخلوط سوکرالوز و ایزومالت، رطوبت، چگالی و قابلیت پهن‌شدن[6] نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش، و شاخص پراکسید و سفتی بافت نمونه‌ها کاهش می‌یابد. همچنین کیفیت فارینوگرافی خمیر بیسکویت با افزایش جایگزینی ساکارز روند کاهشی نشان می‌دهد.

قارچ‌ها همواره به لحاظ دارا بودن ترکیبات زیست فعال منحصر به‌فرد و خواص تغذیه‌ای و دارویی متعدد بسیار مورد توجه بوده‌اند. *گانودرما لوسیدیوم* (*Ganoderma lucidum*)، قارچی یکساله از تیره *Ganodermataceae* است که منبع غنی از مواد فعال بیولوژیک مانند انواع پروتئین‌ها، پپتیدها، پلی‌ساکاریدها، اسیدهای چرب، نوکلئوتیدها، استرول‌ها، تری ترپنوئیدها و ملانین می‌باشد. کاتیون‌های معدنی منیزیم، منگنز، کلسیم، روی، آهن و مس نیز در این قارچ به وفور یافت می‌شود. پلی‌ساکاریدها و تری‌ترپنوئیدهای این قارچ دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ضدسرطانی، ضدباکتریایی، ضدویروسی، ضدآلرژی، تقویت‌کننده سیستم ایمنی بدن و محافظت‌کننده در برابر اشعه و ضدجهش می‌باشند. تحقیقات دانشمندان نشان داده است که پروتئین‌های متصل به پلی‌ساکاریدهایی که از این قارچ استخراج شده است، دارای فعالیت ضدتومور و ضددیابت هستند (Bishop *et al*., 2015). نتایج مطالعات Obodai و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیانگر ارزش تغذیه‌ای بالای *گانودرما لوسیدیوم* می‌باشد. این محققان گزارش نمودند که این قارچ حاوی ۲۴/۵-۱۵/۷٪ پروتئین، ۸۱/۹۰-۷۳/۳۱٪کربوهیدرات، ۱/۴-۰/۴۸٪ چربی و ۲/۱۲-۰/۶۸٪ خاکستر بوده، و منبع غنی از بتاگلوکان، ویتامین‌ها (ویتامین D) و مواد معدنی به‌ویژه فسفر، پتاسیم و کلسیم است. همچنین اثرات مثبت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات زیست فعال موجود در *گانودرما لوسیدیوم* همانند ترکیبات فنولیک، توکوفرول‌ها و بتاکاروتن نیز تأکید شده است. تاکنون تحقیقات اندکی در رابطه با استفاده از *گانودرما لوسیدیوم*

6 Spreadability

در غنی‌سازی محصولات غذایی صورت گرفته است. به‌عنوان مثال، Jairo Lindarte و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی تأثیر *گانودرما لوسیدیوم* را به‌عنوان جایگزین چربی در فرمولاسیون کیک کم کالری پرداختند. نتایج آنها نشان داد که با افزایش درصد جایگزینی، حجم مخصوص کاهش و سفتی بافت افزایش یافت. محتوی رطوبت، فعالیت آبی، پروتئین و خاکستر کیک‌های کم کالری نسبت به نمونه شاهد تغییر محسوسی نداشته، در حالیکه میزان فیبر و چربی محصول نهایی به‌ترتیب، افزایش و کاهش پیدا کرده است.

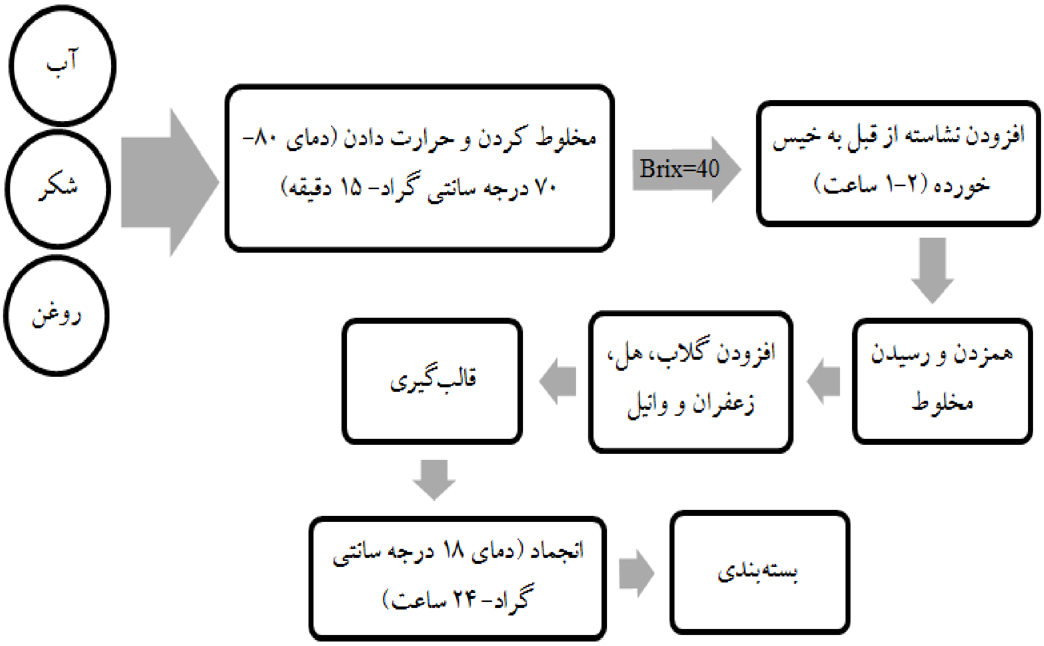
با توجه به اینکه تاکنون در ایران تحقیق جامعی پیرامون کاربرد قارچ *گانودرما لوسیدیوم* و قند کم‌کالری سوکرالوز و قند الکل ایزومالت در فرمولاسیون مسقطی انجام نگرفته است، بنابراین هدف از این پژوهش بررسی امکان غنی‌سازی این محصول با *گانودرما لوسیدیوم* و جایگزین کردن قند ساکارز با استفاده از مخلوط قندهای سوکرالوز- ایزومالت و همچنین جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و تأثیر این جایگزینی بر خواص فیزیکوشیمیایی و بافتی مسقطی با هدف ارتقاء ارزش تغذیه‌ای و حفظ ویژگی‌های کیفی این محصول می‌باشد. در نهایت، نمونه بهینه معرفی شده توسط روش سطح پاسخ و نمونه تجاری، از نقطه نظر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه مورد استفاده در این تحقیق همچون نشاسته گندم و سیب‌زمینی (شهدینه آران، اصفهان)، *گانودرما لوسیدیوم* (سلامت گستران آرایان، اصفهان)، سوربیتول به‌عنوان جایگزین گلوکز مایع، سوکرالوز و ایزومالت (نوین سپهر، اصفهان)، و شکر، گلاب، هل، زعفران و روغن از فروشگاه‌های محلی اصفهان تهیه گردیدند. کلیه مواد آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش، با خلوص بالا از شرکت مرک آلمان خریداری شدند.

تولید مسقطی

فرمولاسیون پایه مسقطی شامل آب (۲۸/۲۷٪)، نشاسته گندم (۱۱/۳۵٪)، سوربیتول (۱۷٪)، شکر (۲۸/۲۷٪)، روغن (۳/۴٪)، گلاب (۱۱/۳۵٪)، زعفران (۰/۰۳٪)، وانیل (۰/۰۳٪) و هل (۰/۰۳٪) در نظر گرفته شد. نمونه‌های شیرینی مسقطی مطابق با شکل ۱ تولید گردید (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل ۱- فرآیند تولید مسقطی

تولید مسقطی رژیمی

برای تهیه مسقطی رژیمی غنی‌شده، متغیرهای مستقل شامل جایگزینی شکر با مخلوط سوکرالوز- ایزومالت در سطوح (۱۰۰-صفر درصد)، جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی در سطوح (۱۰۰-صفر درصد) و *گانودرما لوسیدیوم* در سطوح (۱- صفر درصد به ازای وزن کل مخلوط نهایی) انتخاب شدند (جدول ۱)، و بقیه ترکیبات ثابت در نظر گرفته شد. برای به‌دست آوردن نقطه بهینه، ۲۰ آزمایش

توسط نرم‌افزار Design Expert پیشنهاد گردید (جدول ۲)، که در این جدول فاکتورها و سطوح اندازه‌گیری آنها نیز آورده شده است.

جدول ۱- نمایش متغیرهای مستقل فرآیند و سطوح اندازه گیری آنها

متغیرهای مستقل	فاکتور	کد و سطوح مربوطه				
		$+\alpha$	۱+	۰	۱-	$-\alpha$
جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت* (٪)	A	۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵	۰
جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی (٪)	B	۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵	۰
***گانودرما لوسیدیوم* (٪)**	C	۱	۰/۷۵	۰/۵۰	۰/۲۵	۰

*: با توجه به شیرینی ۶۰۰ برابری سوکرالوز نسبت به شکر و تفاوت وزن سوکرالوز مصرفی و شکر حذف شده، در تمامی تیمارها از ایزومالت به عنوان پرکننده برای تأمین خصوصیات کاربردی مانند ایجاد قوام، شیشه‌ای بودن و سایر خصوصیات ساختاری مسقطی استفاده شد.

جدول ۲- آزمایشات ارائه شده توسط نرم‌افزار با استفاده از طرح RSM

Run	جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت* (٪)	جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی (٪)	*گانودرما لوسیدیوم* (٪)	Run	جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت* (٪)	جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی (٪)	*گانودرما لوسیدیوم* (٪)
۱۳	۵۰	۵۰	۰	۱۷	۵۰	۵۰	۰/۵
۱	۲۵	۲۵	۰/۲۵	۹	۰	۵۰	۰/۵
٤	۷۵	۷۵	۰/۲۵	۱۰	۱۰۰	۵۰	۰/۵
۲	۷۵	۲۵	۰/۲۵	۱۸	۵۰	۵۰	۰/۵
۳	۲۵	۷۵	۰/۲۵	۱٦	۵۰	۵۰	۰/۵
۲۰	۵۰	۵۰	۰/۵	۵	۲۵	۲۵	۰/۷۵
۱۱	۵۰	۰	۰/۵	۷	۲۵	۷۵	۰/۷۵
۱۹	۵۰	۵۰	۰/۵	٦	۷۵	۲۵	۰/۷۵
۱۵	۵۰	۵۰	۰/۵	۸	۷۵	۷۵	۰/۷۵
۱۲	۵۰	۱۰۰	۰/۵	۱٤	۵۰	۵۰	۱

*: با توجه به شیرینی ۶۰۰ برابری سوکرالوز نسبت به شکر و تفاوت وزن سوکرالوز مصرفی و شکر حذف شده، در تمامی تیمارها از ایزومالت به عنوان پرکننده برای تأمین خصوصیات کاربردی مانند ایجاد قوام، شیشه‌ای بودن و سایر خصوصیات ساختاری مسقطی استفاده شد.

ارزیابی ویژگی‌های شیمیایی محصول

اندازه‌گیری رطوبت مطابق روش استاندارد AOAC (۲۰۰۰)، محتوی پروتئین (پس از ۱۵ روز نگهداری) با روش مصوب AACC به شماره ۱۲-۴۶ و با روش کلدال و ضریب تبدیل ۶/۲۵، و قند کل (پس از ۳۰ روز نگهداری) با روش مصوب AACC به شماره ۵۰-۸۰ صورت پذیرفت. میزان ویتامین D مطابق با استاندارد ملی ایران به شمار ۱۳۵۷۹، توسط دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) مدل Cp 3800 ساخت کمپانی Varian اندازه‌گیری گردید. مقدار تزریق نمونه ۲۰ میکرولیتر و آشکارساز فلورسنس JASCO مدل FP-1520 مورد استفاده قرار گرفت. فاز متحرک ترکیبی از هگزان: ایزوپروپانول (۹۹/۳:۷/۷ v/v) بود. سرعت جریان فاز متحرک ۱ میلی‌متر در دقیقه بود. ستون LICHROSORB SI60-5 با ابعاد ۲۵۰×۳ میلی‌متر و اندازه ذارت ۵ میکرولیتر، پمپ KNAUER 1000 و دمای ستون برابر با دمای اتاق بود.

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی محصول

دانسیته نمونه‌های مسقطی پس از تعیین حجم با استفاده از روش جابه جایی دانه کلزا محاسبه شد (Le-Bail *et al.*, 2010). همچنین، برای ارزیابی ویژگی‌های بافتی نمونه‌ها، از دستگاه بافت‌سنج (Hounsfield H512S، آلمان) استفاده گردید. بدین منظور، قطعه مکعب مربع با اندازه ۲×۲ سانتی‌متر از گز تهیه گردید و از پروب با قطر ۲/۵ سانتی‌متر، سرعت نفوذ ۶۰ میلی‌متر در دقیقه و عمق نفوذ ۲۰ میلی‌متر استفاده شد. نیروی لازم جهت نفوذ پروب به درون نمونه به‌عنوان شاخص سفتی بافت بر حسب نیوتن گزارش گردید. پیوستگی و ارتجاعیت (فنریت) نیز از روی نمودار فاصله- نیرو به‌دست آمد. صمغیت از حاصل‌ضرب سختی و پیوستگی، و قابلیت جویدن نیز از

حاصل‌ضرب سختی و پیوستگی و ارتجاعیت محاسبه شد (Gomez *et al*., 2006).

ارزیابی حسی

ارزیابی ویژگی‌های حسی نمونه‌ها پس از ۳۰ روز نگهداری در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و با آزمون هدونیک ۵ نقطه‌ای توسط ۱۵ داور آموزش داده شده، مورد ارزیابی قرار گرفت. از ارزیاب‌ها خواسته شد تا صفات مورد بررسی شامل طعم و مزه، شیرینی، پس طعم، رنگ، بافت و پذیرش کلی را از عدد ۱ تا ۵ رتبه‌بندی نمایند. برای بهترین کیفیت عدد ۵ و برای نازل‌ترین کیفیت عدد ۱ در نظر گرفته شد (Saricoban & Yilmaz, 2010).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این تحقیق، به‌منظور بررسی تأثیر متغیرهای مستقل شامل درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت (A)، درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی (B) و درصد *گانودرما لوسیدیوم* (C) بر تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و بافتی (دانسیته، سفتی، چسبندگی، ارتجاعیت) نمونه‌های مسقطی رژیمی، از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت ورژن ۹ و روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی با α برابر ۱/۵ و ۶ نقطه مرکزی استفاده شد. کلیه بررسی‌های آماری در سطح اطمینان[1] ۹۵ و ۹۹ درصد انجام شد.

در روش RSM برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف شد که آثار اصلی و متقابل متغیرها را بر روی هر فاکتور بیان می‌کند، مدل چند متغیره به‌صورت زیر می‌باشد. در رابطه (۱)، پاسخ پیش بینی شده Y، ضریب ثابت، β_0 ، اثرات خطی β_a، β_b، β_c، اثرات مربعی β_{aa}، β_{bb}، β_{cc} و اثرات متقابل β_{ab}، β_{ac} ، β_{bc} می‌باشند.

$$Y=\beta_0+\beta_aA+\beta_bB+\beta_cC+\beta_{aa}A^2+\beta_{bb}B^2+\beta_{cc}C^2+\beta_{ab}AB+\beta_{ac}AC+\beta_{bc}BC \quad (۱)$$

پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم افزار، مدلی پیشنهاد شد که دارای انحراف استاندارد (S.D.) و مجموع مربعات باقی‌مانده برآورد شده (PRESS) کم و ضریب همبستگی (R^2) بالا باشد. آنالیز نتایج بدست آمده در قالب طرح کاملا تصادفی[2] (CRD) و با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver: ۹/۱ صورت گرفت. به‌منظور مقایسه میانگین‌ها و بررسی معنی‌دار بودن اختلاف بین آنها، از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید.

1 Confidence level
2 Completely randomized design

نتایج و بحث

تغییرات دانسیته

مدل مناسب برای پیشگویی تغییرات دانسیته در اثر تغیر کمیت متغیرهای مورد بررسی (درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و درصد قارچ *گانودرما لوسیدیوم*)، مدل خطی درجه دو با ضریب تبیین (R^2=0.70) و عدم برازش غیر معنی‌دار می‌باشد. ضریب تبیین نشان‌دهنده میزان انحراف داده‌ها از مدل رگرسیون خطی است، و از نظر آماری مدلی مناسب است که آزمون عدم برازش آن معنی‌دار نبوده و دارای بالاترین ضریب تبیین و ضریب تبیین اصلاح شده باشد. با توجه به نزدیک بودن ضریب تبیین به عدد ۱ می‌توان نتیجه گرفت که نتایج به‌دست آمده با مدل پیشنهادی نرم‌افزار در محدوده عددی ذکر شده به‌طور مناسبی سازگاری دارد (جدول ۳). اثر خطی درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و اثر درجه دوم درصد جایگزینی شکر با مخلوط سوکرالوز- ایزومالت بر تغییرات دانسیته معنی‌دار بود ($P<۰/۰۱$)، جدول (۳).

بر طبق معادله (۱)، افزایش دانسیته در مقادیر بالاتر درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت مشاهده گردید. افزایش درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی در فرمولاسیون مسقطی رژیمی، نیز باعث افزایش دانسیته شد. مثبت بودن ضریب رگرسیونی خطی درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و همچنین درجه دوم درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت مؤید این مطلب می‌باشد. اثر متقابل متغیرهای مورد بررسی در این پژوهش بر تغییرات دانسیته مسقطی رژیمی غنی شده معنی‌دار نبودند، بدین معنا که به ازای تغییر سطوح یک فاکتور رفتار مشابهی در مقابل با تغییر سطوح فاکتور دیگر مشاهده شد (جدول ۳).

$$\text{دانسیته}(g/cm^3) = ۱/۱۲ + ۰/۱۳B + ۰/۱۴A^2 \quad (۲)$$

نتایج این پژوهش بیانگر اثر معنی‌دار شکر جایگزین شده با مخلوط سوکرالوز- ایزومالت و نشاسته گندم جایگزین شده با نشاسته سیب‌زمینی بر دانسیته مسقطی رژیمی می‌باشد. افزایش دانسیته نمونه‌های مسقطی در اثر جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی را می‌توان به تغییر ویسکوزیته سیستم و کاهش توانایی خمیر در حفظ و نگهداری حباب‌های هوا طی مراحل مخلوط کردن و پخت نسبت داد (Sanz-Penella *et al*., 2010). کاهش حجم و افزایش دانسیته محصول در اثر حذف شکر و استفاده از سطوح بالاتر جایگزینی شکر با مخلوط سوکرالوز- ایزومالت نیز ممکن است به علت کاهش پایداری ژل نشاسته طی فرایند حرارت‌دهی باشد که ارتباط مستقیم با کاهش ویسکوزیته مخلوط و اندازه حباب‌های هوا دارد، و یا احتمالا به دلیل کاهش سرعت انتقال حرارت ناشی از

کاهش دمای غیرطبیعی‌شدن پروتئین‌ها باشد (Akesowan, 2009). نورمحمدی و همکاران (۱۳۹۱)، گزارش نمودند، کاهش حجم در اثر حضور قندهای الکلی ممکن است به دلیل کاهش مقاومت خمیر طی فرایند حرارتی باشد که با کاهش ویسکوزیته خمیر با افزایش جایگزینی شکر و یا تغییر در مکانیسم‌های تنظیم حرارتی در اثر حضور ایزومالت مرتبط می‌باشد. در تحقیقی دیگر نیز نتایج نشان داد که جایگزینی ساکارز توسط مخلوط سوکرالوز- ایزومالت فرمولاسیون سبب کاهش حجم مخصوص و افزایش دانسیته محصول می‌گردد (جلی و همکاران، ۱۳۹۲).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و قارچ *گانودرما لوسیدیوم* بر متغیرهای پاسخ (دانسیته، سفتی بافت، چسبندگی، ارتجاعیت)

منبع تغییرات	دانسیته (g/cm^3)		سفتی بافت (N)		چسبندگی (N.min)		ارتجاعیت	
	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات
مدل	۲	۰/۲۰**	۳	۴/۷۵**	۶	۱۶/۳۰**	۶	۰/۲۶**
A	–	–	–	–	۱	۰/۰۵۶ns	۱	۰/۰۳۱ns
B	۱	۰/۱۳**	۱	۲/۲۰**	۱	۰/۵۳ns	۱	$۳/۲۶\times۱۰^{-۴}$ ns
C	–	–	–	–	۱	۱۳/۲۹**	۱	$۱/۶۱\times۱۰^{-۳}$ ns
AB	–	–	۱	۲/۸۹**	۱	۱/۹۳**	–	-
AC	–	–	–	–	–	–	–	–
BC	–	–	–	–	–	–	–	–
ABC	–	–	–	–	–	–	–	–
A^2	۱	۰/۰۷۱*	–	۰/۶۰*	۱	۱/۰۱*	۱	۰/۱۲**
B^2	–	–	–	–	–	–	۱	۰/۰۳۹۶*
C^2	–	–	۱	–	۱	۲/۱۲*	۱	۰/۱۴**
باقی مانده	۱۱	۰/۰۸۲	۸	۰/۶۰	۱۱	۱/۷۶	۱۲	۰/۱۰
عدم برازش	۶	۰/۰۵ns	۴	۰/۱۷ns	۶	۰/۴۶ns	۷	۰/۰۴۱ns
R^2	۰/۷۰	۰/۷۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۷۱	۰/۷۱
خطای کل	۵	۰/۰۳۲	۴	۰/۴۳	۵	۱/۳۰	۵	۰/۰۶۱
کل	۱۳	۰/۲۸	۱۱	۵/۳۵	۱۷	۱۸/۰۷	۱۸	۰/۳۶

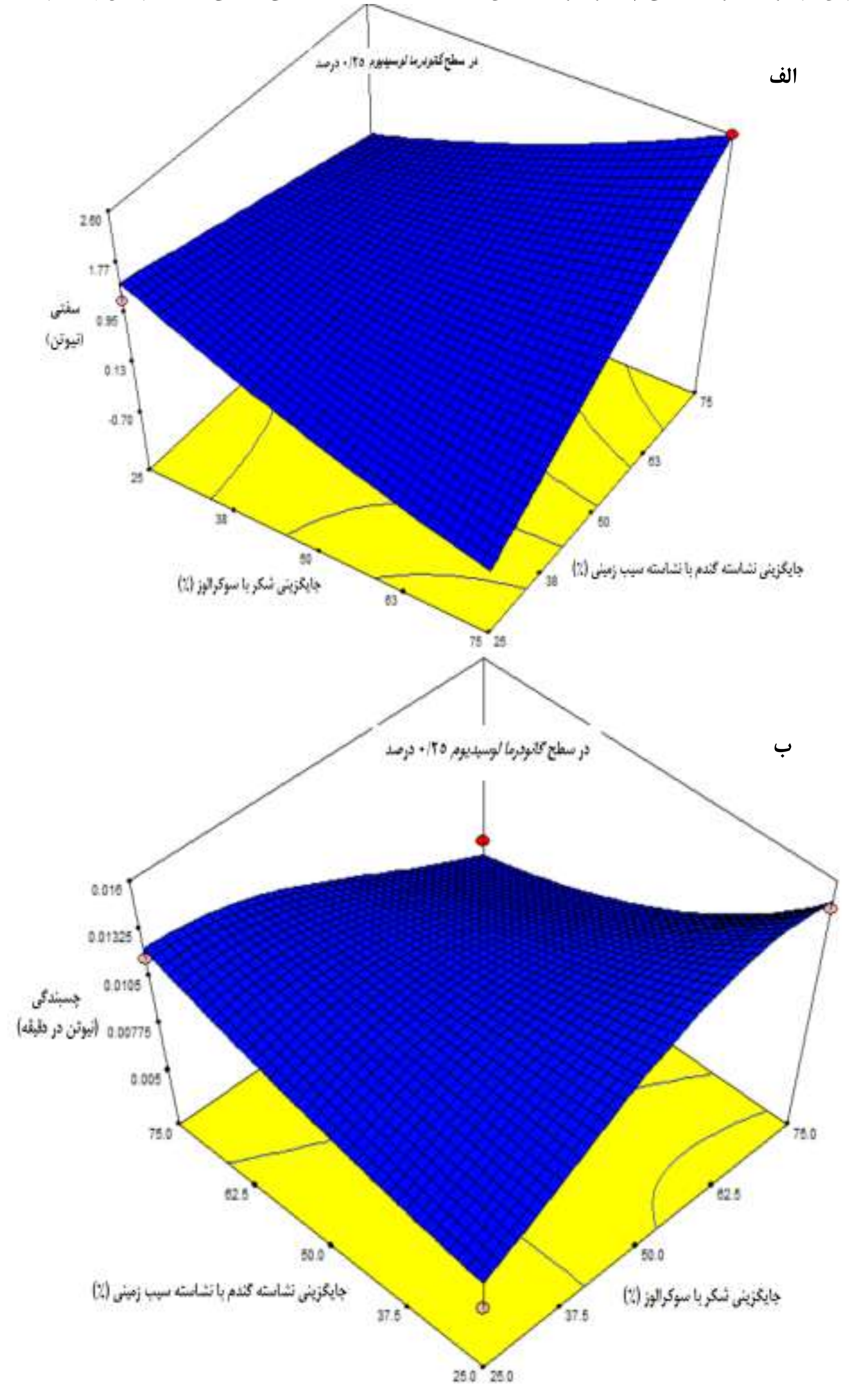
A: درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، B: درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی، C: درصد *گانودرما لوسیدیوم*

خطوط تیره در جدول نشان دهنده‌ی بی تأثیر بودن متغیر مربوطه در پاسخ‌های اندازه گیری شده است، ***: اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۱ درصد، **: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

تغییرات ویژگی‌های بافتی

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۳، مدل خطی درجه دو به‌دست آمده از تغییرات ویژگی‌های بافتی معنی‌دار (P<۰/۰۱)، ضریب تبیین آن برابر با ۰/۸۸ و عدم برازش آن غیرمعنی‌دار بود. بنابر نتایج به‌دست آمده و نزدیک بودن ضریب تبیین به عدد ۱ می‌توان بیان نمود که نتایج به‌دست آمده با مدل پیشنهادی نرم افزار در محدوده عددی ذکر شده به‌طور مناسبی سازگاری دارد. براساس نتایج جدول ۳، اثر خطی درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی بر تغییرات سفتی بافت، اثر درجه دوم درصد جایگزینی شکر با مخلوط سوکرالوز- ایزومالت و اثر متقابل درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت و درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی بر تغییرات سفتی و چسبندگی، اثر خطی و درجه دوم درصد *گانودرما لوسیدیوم* بر تغییرات چسبندگی و همچنین اثرات درجه دوم کلیه متغیرهای مستقل بر تغییرات ارتجاعیت معنی‌دار بود (P<۰/۰۱ و P<۰/۰۵). همانطور که معادله (۳ و ۴) نشان می‌دهد، سفتی و چسبندگی بافت در مقادیر بالاتر درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت افزایش یافت. مطالعات پیشین نیز حاکی از افزایش سفتی بافت در اثر جایگزینی ساکارز با قندهای الکلی و آسپارتام، اریتریتول و الیگوفروکتوز بر روی

کیک اسفنجی (پیغمبردوست و همکاران، ۱۳۸۹)، و مخلوط استویوزید- مالتودکسترین بر روی حلوا مسقطی (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۲) می‌باشد. همچنین با افزایش درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی، سفتی بافت افزایش پیدا کرد.



شکل ۲- اثر متقابل جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت و نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی بر تغییرات بافت مسقطی رژیمی

از آنجایی که نشاسته سیب‌زمینی دارای قدرت تورم بالاتر و مقادیر بالاتری فسفات (۰/۱-۰/۰۶٪) نسبت به نشاسته گندم می‌باشد، این فسفات‌ها به دلیل بار منفی با آمیلوپکتین‌ها اتصال برقرار می‌کند و موجب باز شدن ساختار مارپیچی آنها می‌گردد و این امر به نوبه خود موجب افزایش ویسکوزیته مخلوط نشاسته و در نتیجه سخت‌تر شدن بافت مسقطی می‌شود (Majzoobi *et al*., 2011; Schirmer *et al*., 2012). به علاوه نشاسته سیب‌زمینی به علت داشتن خاصیت جذب آب بالاتر در مقایسه با نشاسته گندم، از طریق جذب رطوبت منجر به افزایش ویسکوزیته مخلوط و سفتی بافت نمونه‌های مسقطی می‌گردد (Vittadini & Vodovotz, 2003). کاهش میزان چسبندگی با افزایش درصد *گانودرما لوسیدیوم* به ویژه در مقادیر بالاتر نیز مشاهده شد. به نظر می‌رسد که تغییر در چسبندگی تیمارها در اثر افزودن *گانودرما*، بدلیل افزایش ویسکوزیته و گرانروی و استحکام مخلوط باشد، که علت آن با وجود مقادیر بالای فیبرهای رژیمی مانند بتاگلوکان در *گانودرما لوسیدیوم* و خاصیت جذب آب بالا و همچنین جذب رطوبت حاصل از فرایند رتروگرادسیون زنجیره‌های نشاسته مرتبط است (مرتضوی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴). بر طبق معادله ۵، ارتجاعیت در مقادیر بالاتر درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و درصد *گانودرما لوسیدیوم* کاهش یافت. تغییرات مشاهده شده در میزان خاصیت ارتجاعیت نمونه‌های مسقطی رژیمی، احتمالا بدلیل تغییر ویسکوزیته سیستم و واکنش‌های شیمیایی متعدد میان *گانودرما* و سایر اجزاء موجود در فرمولاسیون مسقطی می‌باشد. در واقع، این امکان وجود دارد که تداخل مولکول‌های چربی و پروتئین موجود در *گانودرما لوسیدیوم* با سایر ترکیبات فرمولاسیون سبب ایجاد اتصالات متقاطع در سیستم و ایجاد شبکه‌ای با ویژگی‌های بافتی متفاوت می‌گردد (Jairo Lindarte et al., 2019).

(۳) سفتی بافت (N) = ۰/۸۴ + ۰/۵۵B + ۱/۰۵AB + ۰/۱۶A^2

(۴) چسبندگی (N.min) = ۳/۰۳ + ۰/۰۸A + ۰/۱۸B − ۱/۲۳C + ۰/۴۹AB + ۰/۲۹A^2 − ۰/۴۲C^2

(۵) ارتجاعیت = ۰/۸۴ − ۰/۰۴۶A − ۴/۷۰E−۰۳B − ۰/۰۱C − ۰/۰۷A^2 − ۰/۰۴B^2 − ۰/۰۷۵C^2

شکل ۲، اثر متقابل درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت و نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی بر تغییرات بافت را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار سه بعدی (شکل ۲- الف و ب) مشاهده می‌شود که در سطح ۰/۵۰ درصد *گانودرما لوسیدیوم*، در سطوح بالاتر جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، افزایش درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی موجب افزایش سفتی و چسبندگی بافت شد، و در سطوح پایین‌تر جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، سفتی و چسبندگی با افزایش درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی کاهش یافت. باید اشاره داشت که در سطوح بالاتر جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی، کاهش میزان سفتی با کاهش درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت مشاهده شد، و در سطوح پایین‌تر جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی، با کاهش درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت سفتی بافت روند افزایشی داشت. اثر متقابل جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت و جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی در مقادیر بالاتر جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و سطوح پایین‌تر جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت منجر به کاهش سفتی بافت و نرم‌تر شدن نمونه‌های مسقطی رژیمی شد. به عبارت دیگر، کمترین میزان سفتی بافت در سطح ۷۵٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و مقدار ۲۵٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت مشاهده شد (شکل ۲- الف). در نمودار سه بعدی (شکل ۲- ب)، در سطوح بالاتر جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی، با افزایش درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت از میزان چسبندگی کاسته شد، و در سطوح پایین‌تر جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی، با افزایش درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت چسبندگی افزایش یافت.

جدول ٤- مقادیر مورد استفاده برای بهینه‌سازی و ویژگی و یا هدف آن

متغیر مستقل و پاسخ	حد پایین	حد بالا	هدف
جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت (٪)	۰	۱۰۰	در محدوده
جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی (٪)	۰	۱۰۰	در محدوده
گانودرما لوسیدیوم (٪)	۰	۱	در محدوده
دانسیته (g/cm^3)	۱/۰۰	۱/۴۵	در محدوده
سفتی بافت(N)	۰/۴۷	۲/۶۲	مینیمم
چسبندگی (N/min)	۰/۴۲	۰/۶۰	ماکسیمم
ارتجاعیت	۰/۴۸	۰/۹۳	مینیمم

بهینه‌سازی فرمول و اعتبارسنجی

بهینه‌سازی براساس مهم‌ترین پارامترهای کیفی مسقطی (دانسیته، سفتی بافت، چسبندگی و ارتجاعیت) صورت گرفت. به‌منظور اعتبارسنجی مدل‌های حاصل، نمونه‌های بهینه حاوی ۶۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۴۰٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی و ۰/۴۶٪ *گانودرما لوسیدیوم* و ۵۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۳۶٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی و ۰/۵۳٪ *گانودرما لوسیدیوم* تولید گردید. در جدول ۴ دامنه مقادیر به‌دست آمده برای فرایند بهینه‌سازی و هدف آن مشخص شده است.

مقایسه نمونه‌های بهینه و شاهد در طول دوره نگهداری ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

همانطور که در جدول ۵ ملاحظه می‌گردد، میزان رطوبت و دانسیته نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد کاهش معنی‌داری را در طول دوره نگهداری نشان داد (P<۰/۰۵). تفاوت در محتوی رطوبت نمونه‌ها می‌تواند به علت وابستگی فعالیت آبی محصول به مقدار هر یک از ترکیبات افزوده شده به فرمولاسیون و وزن مولکولی آنها باشد (امامی و همکاران، ۱۳۹۸). ویسکوزیته مخلوط در طول فرایند حرارت‌دهی یکی از عوامل مؤثر بر حجم و دانسیته محصول نهایی است. به علاوه قدرت مخلوط در حفظ و نگهداری حباب‌های هوا در طول فرایند پخت نیز تأثیر به‌سزایی بر دانسیته محصول دارد. بنابراین، احتمالا علت کمتر بودن دانسیته تیمارها نسبت به نمونه شاهد ناشی از تأثیر جایگزینی شکر با مخلوط سوکرالوز- ایزومالت، نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و *گانودرما لوسیدیوم* بر افزایش ویسکوزیته مخلوط می‌باشد (Matsakidou *et al*., 2010). باید تذکر داشت که قدرت جذب آب بالای ترکیبات فیبری نظیر بتاگلوکان در *گانودرما لوسیدیوم* به‌واسطه تأثیری که بر ضخامت دیواره حباب‌های هوا و انبساط حباب‌ها در طی فرایند پخت دارند، تأثیر به‌سزایی نیز بر حجم و دانسیته محصول می‌گذارند (Jairo Lindarte *et al*., 2019). نتایج مطالعات پیشین در رابطه با بهینه‌سازی فرمولاسیون کیک یزدی کم کالری با استفاده از استویوزید، ایزومالت و سوربیتول نشان داد، با افزایش نسبت جایگزینی شکر با قندهای الکلی و استویوزید، میزان رطوبت و فعالیت آبی نمونه‌ها کاهش می‌یابد (پیله‌وران و همکاران، ۱۳۹۳). جلی و همکاران (۱۳۹۲)، با بررسی تأثیر جایگزینی ساکارز توسط مخلوط سوکرالوز- ایزومالت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بیسکویت گزارش کردند که با کاهش میزان ساکارز و افزایش میزان مخلوط سوکرالوز و ایزومالت، رطوبت، چگالی و پهن‌شدن نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد اما شاخص پراکسید و سختی بافت نمونه‌ها به‌طور قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند.

جدول ۵- مقایسه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های بهینه و شاهد در طول دوره نگهداری

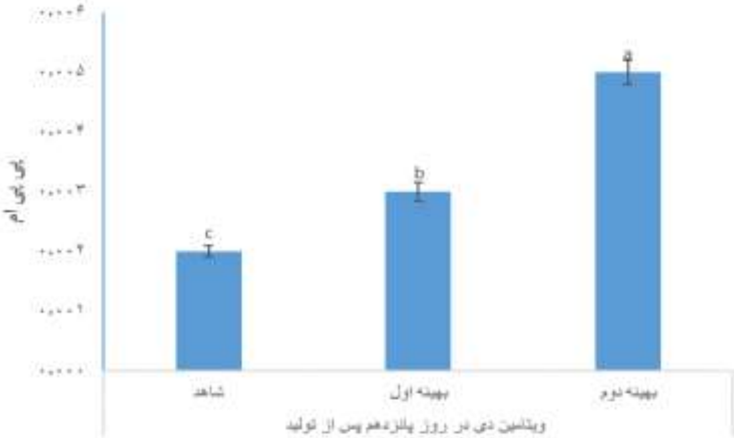
نمونه	روز	رطوبت (٪)	دانسیته (g/cm^3)	قندکل (٪)	پروتئین (٪)
بهینه ۱	۰	۶/۰۳±۰/۱۸ ^{f}	۱/۱۲±۰/۰۲۵ ^{d}	–	
	۱۵	۶/۱۲±۰/۱۸ ^{f}	۱/۲۰±۰/۰۲۵ ^{b}	–	۳/۰۸±۰/۲ ^{a}
	۳۰	۵/۷۵±۰/۱۲ ^{g}	۱/۱۴±۰/۰۴ ^{cd}	۲۹/۱۴±۲/۰۰ ^{b}	–
	۴۵	۵/۶۵±۰/۱۱ ^{g}	۱/۲۱±۰/۰۲۱ ^{b}	–	–
بهینه ۲	۰	۶/۵۱±۰/۰۴ ^{d}	۱/۱۹±۰/۰۲۵ ^{bc}	–	–
	۱۵	۶/۳۹±۰/۰۶ ^{de}	۱/۱۱±۰/۰۵ ^{d}	–	۳/۵۵±۰/۲ ^{a}
	۳۰	۶/۲۴±۰/۰۵ ^{ef}	۱/۲۱±۰/۰۲۵ ^{b}	۲۶/۱۵±۱/۵۰ ^{b}	–
	۴۵	۶/۰۶±۰/۰۴ ^{f}	۱/۳۵±۰/۰۳۱ ^{a}	–	–
شاهد	۰	۸/۳۴±۰/۱۲ ^{a}	۱/۳۶±۰/۰۲۵ ^{a}	–	–
	۱۵	۸/۰۹±۰/۲۱ ^{b}	۱/۲۲±۰/۰۳۶ ^{b}	–	۱/۵۱±۰/۱ ^{b}
	۳۰	۸/۰۷±۰/۱۸ ^{b}	۱/۲۳±۰/۰۲۵ ^{b}	۵۸/۶۲±۱/۳۰ ^{a}	–
	۴۵	۷/۶۳±۰/۱۳ ^{c}	۱/۳۱±۰/۰۲۱ ^{a}	–	–

حروف کوچک متفاوت در هرستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها است (P<0.05).

بررسی ویژگی‌های کیفی نمونه بهینه و نمونه شاهد نشان می‌دهد که درصد پروتئین نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت (P<۰/۰۵)، که علت را می‌توان به حضور مقادیر بالای پروتئین در *گانودرما لوسیدوم* نسبت داد (کی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱). همانطور که انتظار می‌رفت، میزان قند کل نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد کاهش پیدا کرد، که علت آن حذف بخشی از ساکارز و

جایگزینی آن با مخلوط سوکرالوز- ایزومالت در فرمول مسقطی می‌باشد. Manisha و همکاران (۲۰۱۲) و همچنین Lin و همکاران (۲۰۱۰)، نیز کاهش به‌سزایی را در میزان قند کل، با جایگزینی شکر و حذف بخشی از آن از فرمول کیک اسفنجی مشاهده کردند. با افزایش درصد جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت و درصد *گانودرما لوسیدیوم*، تغییر معنی‌داری در میزان پروتئین و قند کل نمونه‌های بهینه مشاهده نشد (P>۰/۰۵).

نتایج حاصل در شکل ۳ نشان می‌دهد که محتوی ویتامین D نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت (P<۰/۰۵)، که علت آن را می‌توان به وجود مقادیر بالای ویتامین D در *گانودرما لوسیدیوم* نسبت داد (Gao *et al*., 2003). همانطور که ملاحظه می‌گردد، افزایش درصد *گانودرما لوسیدیوم* نیز اثر معنی‌داری (P<۰/۰۵)، بر مقدار ویتامین D نمونه‌های بهینه داشت، به‌طوریکه نمونه بهینه ۲ (شامل ۰/۵۳٪ *گانودرما لوسیدیوم*)، میزان ویتامین D بالاتری را نسبت به نمونه بهینه ۱ نشان داد.



شکل ۳- مقایسه میزان ویتامین دی (پی‌پی‌ام) روز پانزدهم پس از تولید در نمونه‌های بهینه و شاهد

(بهینه ۱: ۶۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۴۰٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی، ۰/۴۶٪ *گانودرما لوسیدیوم*؛ بهینه ۲: ۵۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۳۶٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی، ۰/۵۳٪ *گانودرما لوسیدیوم*)

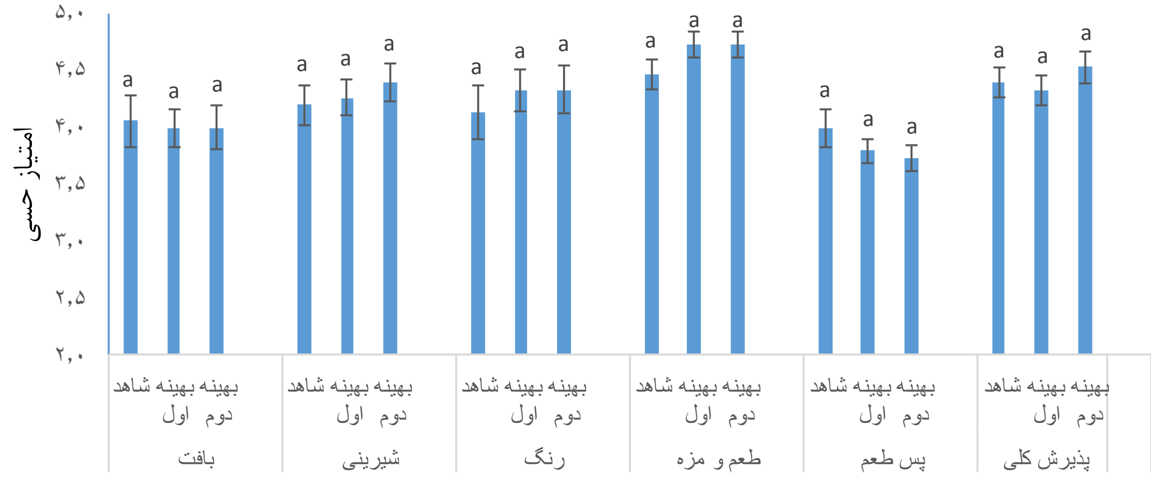
ویژگی‌های بافتی

در طی دوره نگهداری نمونه‌ی بهینه ۱ و نمونه شاهد تفاوت معنی‌داری از حیث تغییرات سفتی بافت نداشتند (P<۰/۰۵)، درحالیکه میزان سفتی نمونه بهینه ۲ به‌طور معنی‌داری (P<۰/۰۵)، بالاتر بود. سفتی بافت وابستگی زیادی با میزان رطوبت و تحرک آب، به ماده خشک، نوع و مقدار پروتئین و چربی محصول دارد. از آنجایی که *گانودرما لوسیدیوم* حاوی مقادیر قابل ملاحظه‌ای پروتئین و فیبرهای رژیمی است، این احتمال وجود دارد که می‌تواند تأثیر زیادی بر ویسکوزیته مخلوط و در نهایت قدرت شبکه ژلی تشکیل شده بگذارد (Jairo Lindarte *et al*., 2019). از طرفی، نوع و مقدار شیرین‌کننده جایگزین شده با شکر در فرمولاسیون محصول، به‌واسطه تأثیری که بر ویسکوزیته مخلوط دارد، می‌تواند موجب تغییر سختی و پیوستگی بافت آن گردد. به‌طور کلی، می‌توان تغییرات مشاهده شده در میزان سفتی بافت نمونه‌های مسقطی رژیمی را با مکانیسم‌هایی که باعث تغییر ویسکوزیته سیستم شده‌اند، مرتبط دانست (Ronda *et al*., 2005). بیاتی محصول اغلب با افزایش سفتی بافت آن همراه است و افزایش سفتی طی دوره نگهداری تحت تأثیر رتروگرادسیون آمیلوز است. رتروگرادسیون آمیلوز، واکنش بین نشاسته و گلوکز و همچنین پدیده مهاجرت رطوبت از جمله عوامل مؤثر در سفتی محصولات غلات طی انبارداری هستند. بیشترین جابه‌جایی آب از گلوتن به نشاسته صورت می‌گیرد، در نتیجه با افزایش آب در دسترس نشاسته در رقابت با گلوتن کریستالیزاسیون آن نیز بیشتر می‌گردد. تمایل بالای نشاسته سیب‌زمینی به جذب آب و توانایی آن در حفظ آب بدلیل حضور مقادیر بالای فیبر و فسفات و همچنین وجود مقادیر کمتر آمیلوز در نشاسته سیب‌زمینی نسبت به نشاسته گندم سبب کاهش آب در دسترس نشاسته و به دنبال آن کاهش کریستالیزاسیون مجدد نشاسته می‌گردد (Tomasik, 2009). از این رو، در تحقیق حاضر کاهش میزان سفتی بافت تیمار حاوی ۵۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۳۶٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و ۰/۵۳٪ *گانودرما لوسیدیوم*، با افزایش زمان نگهداری مشاهده شد. در بسیاری از مطالعات قبلی نیز گزارش شده است که سرعت رتروگرادسیون (بیاتی) نشاسته سیب‌زمینی بر اساس وزن رسوب نشاسته طی ۳۰ روز نگهداری در مقایسه با نشاسته گندم بسیار کمتر است (Shevkani *et al*., 2016).

جدول ٦- مقایسه ویژگی‌های بافتی نمونه‌های بهینه و شاهد در طول دوره نگهداری

نمونه	روز	سفتی	چسبندگی	پیوستگی	ارتجاعیت	صمغیت	قابلیت جویدن
بهینه ۱	۰	۵۰/۴۰±۶/۵۹^{cd}	۰/۴۹± ۰/۱۴^{a}	۰/۳۸± ۰/۰۵^{bc}	۰/۷۲± ۰/۱۱^{ab}	۱۸/۶۷± ۸/۳۶^{bc}	۱۲/۷۸± ۴/۶۰^{a}
	۱۵	۲۶/۹۳± ۳۱/۸۲^{cde}	۰/۲۲± ۰/۱۶^{ab}	۰/۴۲± ۰/۱۰^{abc}	۰/۷۴± ۰/۱۹^{a}	۱۰/۰۳± ۴/۴۵^{cd}	۶/۹۰± ۱/۱۸^{bc}
	۳۰	۳۰/۲۳± ۸/۷۲ ^{cde}	۰/۲۶± ۰/۰۷^{b}	۰/۴۰± ۰/۰۸^{abc}	۰/۷۸± ۰/۱۰^{a}	۱۱/۳۵± ۲/۶۴^{cd}	۸/۷۰± ۱/۵۴^{ab}
	۴۵	۲۱/۶۷± ۳۶/۰۵^{de}	۰/۱۸± ۰۱۱^{bcd}	۰/۳۹± ۰/۰۳^{abc}	۰/۷۹± ۰/۰۷^{a}	۸/۳۷± ۳/۱۰^{d}	۶/۶۶± ۲/۷۲^{bc}
بهینه ۲	۰	۱۵۷/۴۰±۲۴/۷۲^{a}	۰/۱۸± ۰/۱۳^{b}	۰/۲۶± ۰/۰۴^{d}	۰/۲۷± ۰/۰۶^{de}	۴۱/۲۲± ۶/۹۸^{a}	۱۱/۴۴± ۴/۲۷^{a}
	۱۵	۵۸/۹۷±۱۶/۷۲^{c}	۰/۲۱± ۰/۰۵^{b}	۰/۳۸± ۰/۰۴^{bcd}	۰/۴۶± ۰/۱۹^{de}	۲۱/۳۳±۷/۳۵^{b}	۹/۲۱± ۲/۳۴^{ab}
	۳۰	۱۰۵/۵۰±۱۳/۰۱^{b}	۰/۱۳± ۰/۰۴^{b}	۰/۳۲± ۰/۰۳^{cd}	۰/۳۵± ۰/۰۵^{cde}	۳۳/۱۱± ۶/۴۴^{a}	۱۱/۲۸± ۰/۳۰^{a}
	۴۵	۵۳/۲۷± ۱۲/۳۴^{cd}	۰/۰۷± ۰/۰۲^{b}	۰/۳۴± ۰/۰۱^{cd}	۰/۳۴± ۰/۰۳^{e}	۱۷/۹۶± ۵/۶۶^{bc}	۵/۹۴± ۱/۴۵^{bc}
شاهد	۰	۱۶/۷۳± ۲/۲۹^{e}	۰/۰۳± ۰/۰۲^{d}	۰/۵۱± ۰/۰۶^{a}	۰/۶۱± ۰/۰۵^{abc}	۸/۲۵± ۳/۰۷^{d}	۴/۹۶± ۱/۶۵^{bc}
	۱۵	۱۱/۶۷±۵/۵۹^{e}	۰/۰۹± ۰/۰۰۶^{bcd}	۰/۴۷± ۰/۰۶^{ab}	۰/۶۹± ۰/۱۱^{ab}	۵/۴۰± ۰/۱۰^{d}	۳/۷۳± ۰/۴۸^{c}
	۳۰	۱۶/۸۷± ۹/۲۳^{e}	۰/۱۳± ۰/۰۴^{bcd}	۰/۳۷± ۰/۰۴^{bcd}	۰/۵۳± ۰/۰۶^{bcd}	۶/۱۲± ۱/۰۸^{d}	۳/۲۸± ۰/۷۶^{c}
	۴۵	۱۳/۳۳±۴۰/۷۸^{e}	۰/۱۶± ۰/۰۷^{cd}	۰/۴۴± ۰/۰۹^{abc}	۰/۶۰± ۰/۰۹^{abc}	۵/۸۶± ۱/۰۵^{d}	۳/۵۶± ۱/۰۴^{c}

حروف کوچک متفاوت در هرستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها است (P<۰/۰۵).



شکل ٤- مقایسه خصوصیات حسی نمونه‌های بهینه و شاهد در روز سی‌ام پس از تولید

ستون‌های دارای حروف متفاوت از لحاظ آماری دارای میانگین متفاوت هستند (P<۰/۰۵)

(بهینه ۱: ۶۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۴۰٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی، ۰/۴۶٪ *گانودرما لوسیدیوم*؛ بهینه ۲: ۵۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۳۶٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی، ۰/۵۳٪ *گانودرما لوسیدیوم*)

نمونه‌های مسقطی رژیمی تولید شده تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد از حیث چسبندگی و صمغیت نشان نداشتند (P>۰/۰۵). میزان انسجام و پیوستگی بافت با توان ترکیبات به‌کار رفته در فرمول در قابلیت جذب و نگهداری آب مرتبط است. به علاوه، حضور مقادیر بیشتر آمیلوپکتین (دارای شاخه‌های جانبی بیشتر) در نشاسته سیب‌زمینی نسبت به نشاسته گندم، می‌تواند سبب بهبود حجم، ایجاد چسبندگی در اجزای خمیر و افزایش قابلیت توزیع یکنواخت‌تر سلول-های گازی و در نهایت ایجاد ساختمانی منسجم و بهبود خاصیت ارتجاعیت در محصول گردد (Lopez *et al*., 2004). به‌نظر می‌رسد این امر می‌تواند دلیلی بر کاهش معنی‌دار (P<۰/۰۵)، میزان پیوستگی و ارتجاعیت تیمار حاوی ۵۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۳۶٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و ۰/۵۳٪ *گانودرما*

لوسیدیوم (دارای درصدهای جایگزینی پایین‌تر نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی) نسبت به تیمار حاوی ۶۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۴۰٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب زمینی و ۰/۴۶٪ *گانودرما لوسیدیوم* و نمونه شاهد باشد. نتایج حاصل در جدول ۶ بیانگر افزایش قابلیت جویدن نمونه‌های مسقطی رژیمی تولید شده در مقایسه با نمونه شاهد بود، که علت این امر را می‌توان به افزایش جذب آب فرمولاسیون ناشی از حضور گانودرما و بتاگلوکان موجود در آن نسبت داد (Jairo Lindarte *et al*., 2019).

خصوصیات حسی

طبق نتایج شکل ۴، اثر تیمار (جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و استفاده از قارچ *گانودرما لوسیدیوم*) بر خصوصیات حسی مسقطی رژیمی غنی‌شده نظیر طعم و مزه، پس طعم، رنگ، بافت و پذیرش کلی معنی‌دار نبود. این نتیجه به این معنی است که حذف بخشی از شکر و نشاسته گندم و جایگزینی آنها در فرمول مسقطی و همچنین کاربرد *گانودرما لوسیدیوم* به‌عنوان یک ترکیب عملگر، هیچ‌گونه اثر نامطلوبی بر خواص حسی محصول نهایی نداشت و عطر و طعم اضافی در محصول ایجاد نکرد. از نتایج به‌دست آمده می‌توان اینطور استنباط نمود که ویژگی‌های مختلف سوکرالوز و ایزومالت مانند مزه، رنگ، شیرینی و ایجاد بافت شباهت زیادی به شکر دارد و جایگزینی شکر با مخلوط سوکرالوز- ایزومالت در محصول می‌تواند نقش مؤثری در تشابه بیشتر از حیث ویژگی‌های حسی نسبت به نمونه شاهد داشته باشد (Carakostas *et al*., 2012). همچنین می‌توان اظهار نمود که استفاده از *گانودرما لوسیدیوم* به‌عنوان یک ترکیب عملگر اثر نامطلوبی بر خصوصیات حسی محصول نهایی نداشت. Martinez- Cervera و همکاران (۲۰۱۴) با مقایسه انواع پلی‌ال‌ها به‌عنوان جایگزین شکر در مافین (کاپ کیک) تفاوت محسوسی را بین پذیرش مافین‌های دارای شکر و سایر شیرین کننده‌ها گزارش نکردند.

نتیجه‌گیری

افزایش درصد جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و جایگزین کردن شکر با مخلوط سوکرالوز- ایزومالت در مقادیر بالاتر باعث افزایش دانسیته محصول شد. با بررسی اثر هر کدام از متغیرهای مستقل، می‌توان چنین نتیجه گرفت که متغیرهای جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت و نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی در سطوح ارزیابی شده اثر معنی‌داری بر چسبندگی و ارتجاعیت بافت نمونه‌های تولیدی نداشتند. بررسی تأثیر متقابل متغیرها نیز نشان داد که اثر همزمان جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت و جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی در مقدار ۷۵٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و مقدار ۲۵٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت می‌تواند تأثیر قابل توجهی در کاهش سفتی بافت و نرم‌تر شدن نمونه‌های مسقطی رژیمی داشته باشد. روش سطح پاسخ به‌عنوان روش آماری بهینه‌سازی و مدل‌سازی توانست شرایط بهینه تولید مسقطی رژیمی غنی‌شده توسط جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و قارچ *گانودرما لوسیدیوم* را در سطوح به‌کار رفته به خوبی پیش‌بینی نماید، و نمونه‌های بهینه به‌دست آمده توسط مدل شامل ۶۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۴۰٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و ۰/۴۶٪ *گانودرما لوسیدیوم* و ۵۲٪ جایگزینی شکر با سوکرالوز- ایزومالت، ۳۶٪ جایگزینی نشاسته گندم با نشاسته سیب‌زمینی و ۰/۵۳٪ *گانودرما لوسیدیوم* بود. بر اساس نتایج حاصل، تولید مسقطی رژیمی دیابتی غنی‌سازی‌شده با جایگزین کردن بخشی از شکر با سوکرالوز- ایزومالت و استفاده از *گانودرما لوسیدیوم* به‌طور موفقیت آمیزی امکان پذیر است به‌گونه‌ای که میزان قند کل کاهش و میزان پروتئین و ویتامین D محصول افزایش یافت، و ویژگی‌های فیزیکی و حسی آن تغییر محسوسی نکرد.

تشکر و قدردانی

از شرکت دانش بنیان سلامت گستران آرایان به دلیل همکاری‌های علمی و پژوهشی در راستای محقق شدن این تحقیق کمال تشکر را دارد.

منابع

AACC. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th ed. Vol 2. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN; 2000: 12-46.

AACC. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th ed. Vol 2. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN; 2000: 50-80.

Akesowan, A., 2009. Quality of reduced-fat chiffon cakes prepared with erythritol-sucralose as replacement for sugar. *Pakistan J Nutr*, 8(9): 1383-1386.

AOAC, 2002, Official Methods ofAnalysis of AOAC International, 17th Edn., AOAC International, Maryland.

Aston, L.M., Stokes, C.S., & Jebb, S.A., 2008. No effect of a diet with a reduced glycaemic index on satiety, energy intake and body weight in overweight and obese women. International Association for the Study of Obesity (London) 32: 160–165.

Bishop, K.S., Kao, C.H.J., Xu, Y., Glucina, M.P., Paterson, R.R.M., Ferguson, L.R., 2015. From 2000 years of *Ganoderma lucidum* to recent developments in nutraceuticals. *Phytochemist*, 114: 56–65.

Carakostas, M., Prakash, I., Kinghorn, A.D., D.WU, C., Soejarto, D., 2012. Steviol Glycosides. Kearsley, M.W., Boghani, N. Maltitol. In: Nadors, L.O.B., editor. Alternative Sweeteners. 4 th ed. Taylor & Francis group, 159: 299-315.

Emami, N., Nateghi, L., & Eshaghi, M.R., 2020. The study of the effect of sucrose replacement by sucralose- isomalt mixture on the qualitative characteristics of kermanshah's traditional baklava. *J Food Rese*, 29: 71-88, [in Persian].

Gao, Y., Zhou, S.h., Huang, M., & Xu, A., 2003. Antibacterial and antiviral Value of genus *Ganoderma* P. Karst. Species (Aphyllophoromycetideae): a review. *Int. J. Med.Mushr*, 5(3): 235 - 346.

Ghandehari Yazdi, A. P., Hojjatoleslami, M., Keramat, j., & Jahadi, M., 2013. Study on the effect of replacing sucrose with Sucralose- Maltodextrin on the rheological properties and the amount of calories in Ghotab- A traditional confectionary. *Innov Food Technol*, 2: 49-58, [in Persian].

Gomez, M., Ronda, F., Caballero, P., Blanco, C., & Rosell, C.M., 2006. Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocoll*, 21: 167-173.

Grotz,V. L. & Munro, I. C., 2009. An over view of the safety of sucralose. *J of Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 55: 1-5.

Jairo Lindarte, A., Luis-Felipe, G., 2019 .Effects of replacing fat by betaglucans from Ganoderma lucidum on batter and cake properties. *J Food Sci Technol*, 56(1): 451–461.

Jali, E., Keramat, J., Hojjatoleslamy, M., Jahadi, M., 2013. tudy on the effects of replacing sucrose with sucralose/isomalt on physicochemical properties of rotary mold biscuits. *Innov Food Technol*, 1(1): 49-64, [in Persian].

Keypour, S., Riahi, H., & Rafati, H., 2013. Overview of biologically active compounds and therapeutic properties of Ganoderma leucidum. *J Med Plants*, 2(46): 13-24 [in Persian].

Kroger, M., Meister, K., & Kava, R., 2006. Low-calorie sweeteners and other sugar: A review of the safety issues.*Compr. Rev. Food Sci. Food Saf*, 5 :35-47.

Le-Bail, A., Nicolitch, C., & Vuillod, C., 2010. Fermented frozen dough: impact of pre-fermentation time and offreezing rate for a pre-fermented frozen dough on final volume of the bread. *Food Bioproc Technol*, 3(2): 197-203.

Lin, S.D., Lee, C.C., Mau, J.L., Lin, L.Y., & Chiou, S.Y., 2010. Effect of erythritrol on quality characteristics of reduced-calorie Danish cookies. *J Food Qual*, 33: 14-26.

Lopez, A.C.B., Pereira, A.J.G., and Junqueira, R.G. 2004. Flour mixture of rice flour, corn and cassava starch in the production of gluten free white bread. *Braz Arch Biol Technology*, 47: 63-70.

Majzoobi, M., Sariri Ghavi, F., Farahnaky, A., Jamalian, J. & Mesbahi, G., 2011. Effect of tomato pomace powder on the physicochemical properties of flat bread (Barbari Bread). *J. Food. Process. Preserv*, 35: 247–256.

Manisha, G., Soumya, C. & Indrani, D., 2012. Studies on interaction between stevioside, liquid sorbitol, hydrocolloid and emulsifiers for replacement of suger in cakes. *Food Hydrocoll*, 29: 363-373.

Martínez-Cervera, S., Salvador, A., & Sanz, T., 2014. Comparison of different polyols as total sucrose replacers in muffins:thermal, rheological, texture and acceptability properties. *Food Hydrocoll*, 35: 1-8.

Matsakidou, A., Blekas, G., & Paraskevopoulou, A., 2010. Aroma and physical characteristics of cakes prepared byreplacing margarine with extra virgin olive oil. *Food Sci Technol*, 43: 949-957.

Mortazavinezhad, S., Abbasi, H., & Jahadi, M., 2016. Optimizing the components of the sponge cake containing acara. *J Res Innov Food Sci Technol*, 1(5): 1-14 [in Persian].

National institute of standard and industrial research of Iran. (1383). Foodstuffs - Determination of vitamin D by high performance liquid chromatography- Measurement of cholecalciferol (D3) or ergocalciferol (D2). 13579. First edition [in Persian].

Nourmohammadi, A., & Peyghambardoust, S. H., 2011. Feasibility study of low-calorie cake repairation with erythritol and oligo-fructose. *Iranian J of Nutr Scienc and Food Technol*, 7: 85-92.[in Persian].

Obodai, M., Mensah, D.L.N., Fernandes, A., Kortei, N.K., Dzomeku, M., Teegarden, M., Schwartz, S.J., Barros, L., Prempeh, J., Takli, R.K., & Ferreira I.C.F.R., 2017. Chemical Characterization and Antioxidant Potential of Wild Ganoderma Species from Ghana. *Molecules*, 22: 1-18.

Omidvar, J., Hojjatoleslami, M., Ghabousi,S. H., Ghandehari Yazdi, A. P., & Shariati, M. A., 2014. The Investigation of Saccharose Replacing by Adding Maltodextrin-Stevioside Mixture on the Rehological and Sensory Properties of Hlava Masghati Lari (an Iranian Confectionary). *In. J. Sci. Res Eng. Technol*, 3: 748-754, [in Persian].

Peighambardoost, H., Nourmohammadi, A.,Ghafari, A., Azadmard Damirchi, S. and Hesari, J., 2011. The affection of saccharose replacement by alcoholic sugar and aspartame on sponge cake properties. *J of food sci rese*, 21(2): 155-165, [in Persian].

Pilehvaran, M., Toolakipour, H., & Beiraghi Tousi, S.h., Shafafizanouzian, M., 2014. Optimal formulation of low-calorie Yazdi cake using stevioside, isomalt and sorbitol sweeteners. Mashhad: *Iran J Nutr Sci Food Technol*, [in Persian].

Ronda, F., Gamez, M., Blanco, C.A. & Caballero, P.A., 2005. Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes, *Food Chem*, 90(4): 549-555.

Sanz-Penella, J.M., Wronkowska, M., SoralŚmietana, M., Collar, C., Haros, M., 2010. Impact of the addition of resistant starch from modified pea starch on dough and bread performance. *Eur Food Res Technol*, 231(4):499–508.

Saricoban, C., & Yilmaz, M.T., 2010. Modelling the effects of processing factors on the changes in colour parameters of cooked meatballs using response surface methodology. *World Appl Sci J*, 9: 14-22.

Savitha, Y. S., Indrani, D. & Prakash, J., 2008. Effect of sugar with sucoralose and maltodextrin on rheological charateistics of wheat flour dough and quality of soft dough and quality of soft dough biscuit. *Journal of Texture studies*, 39: 605-616.

Schirmer, M., Höchstötter, A., Jekle, M., Arendt, E., & Becker, T., 2012. Physicochemical and Morphological Characterization of Different Starches with Variable Amylose/amylopectin Ratio, *Food Hydrocoll*, 32: 52-63.

Shevkani, K., Singh, N., Bajaj, R., Kaur, A., 2016. Wheat starch production, structure, functionality and applications—a review. *In. J. Food. Sci. Technol*.

Tomasik, P., 2009. Specific physical and chemical properties of potato starch. Global Sciences Books, 45-56.

Vittadini, E., & Vodovotz, Y., 2003. Changes in the physicochemical properties of wheat and soy-containing breads during storage as studied by thermal analyses. *Food. Eng. Physic Proper*, 68: 2022-2027

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 5, Dec- Jan 2021, p. 701-716

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۵، آذر- دی ۱۴۰۰، ص.۷۱۶ -۷۰۱

Production of Masghati sweets formulation containing *Ganoderma locidum* by replacing sucrose and wheat starch with sucralose-isomalt and potato starch by response surface methodology

M. Heidarian[1], M. Goli*[2]

Received: 2020.07.23
Accepted: 2020.09.06

Introduction: Lifestyle modifications related to change in the eating quality and quantity along with mental stress led to the prevalence of non-communicable diseases. Based on the consumer's demand, food scientists are now focusing on developing sugar free or low- carbohydrate, fat free, low calorie, and fiber and protein rich foods. Masghati is one of the Iranian traditional sweets, which is very popular due to its desirable texture and sensory properties. However, considering its high sugar content, its consumption is restricted in obes and diabetics. In recent years, a number of artificial sweeteners like saccharine, acesulfame-K, aspartame, which are sweeter than sucrose and nontoxic, have been developed and introduced to replace sugar. One more sweetener, sucralose, has gained the approval of the Food and Agriculture Organization/World Health Organization. Sucralose, the only noncaloric sweetener originated from sugar is approximately 600 times sweeter than sucrose and is marketed for broad use in food and beverages in over 30 countries worldwide. Isomalt is a sweet, low-calorie bulking agent with properties and characteristics similar to sucrose. It is a sugar alcohol that is odorless, crystalline, and non-hygroscopic. The sweetening power of isomalt lies between 0.45 and 0.60 as compared with that of sucrose. *Ganoderma lucidum* is a wood-degrading mushroom that is treasured as a functional food since primitive times. *Ganoderma* is a rich source of protein, carbohydrate, fat, fiber and ash. No research has been done on the use of *Ganoderma lucidum* and substituting sucrose with sucralose-isomalt, as well as substituting wheat starch with potato starch in Masghati formulation, Therefore, the aim of this study was to investigate the possibility of enrichment this product with *Ganoderma lucidum* and sucrose substitution with sucralose-isomalt and wheat starch substitution with potato starch.

Materials and Methods: Materials used in Masghati formulation consisted of wheat and potato starch (Shahdineh Aran Co), isomalt, sucralose, *Ganoderma lucidum* were supplied from salamatgostaran arayan Co. All chemicals were from Merck Co. The formulation of Masghati include wheat starch (9.34%), sugar (46.72%), oil (9.34), saffron (0.02%), cardamom (1.4%), rosewater (23.36%) and vanilla (0.48%) were selected. To produce Masghati, the mixture of sugar, oil and water was heated to boiling temperature and complete dissolution. After the heat treatment (100°C for 2h), the mixture was cooled to 40°C and the wheat starch was added and mixed. At the end, saffron, cardamom, rosewater and vanilla were added. The prepared mixture was molded and placed at 18°C for 24h. Moisture, protein and sugar were determined according to AOAC (2000) and AACC standard numbers, 46-12 and 01-50-80. The density was also determined according to (Le-Bail *et al*., 2010). High-performance liquid chromatography measurement of vitamin D was performed according to National institute of standard number 13579. Textural properties were determined using a Texture Analyzer. In this study, the effects of sucrose replacement with sucralose-isomalt (0-100%), wheat starch replacement with potato starch (0-100%) and *Ganoderma lucidum* (0-1%) on physicochemical and textural properties (density, hardness, adhesiveness, springiness) were investigated by response surface methodology (RSM) in the form of a central composite design with 6 central point (α=2). Optimal and control samples were examined in terms of qualitative characteristics such as moisture, protein, sugar, vitamin D, density, textural (hardness, adhesiveness, springiness, cohesiveness, gumminess, *chewiness*) and sensory properties during 0, 15, 30 and 45 days after production. Comparison of the optimal and control samples was done in a Duncan's new multiple range test using SPSS ver: 9.1 software.

Results and Discussion: The results revealed that increase in the percentage of wheat starch replacement with potato starch and replacing sucrose with sucralose-isomalt in higher amounts resulted in an increase of the density. The variables of sucrose substitution with sucralose-isomalt and wheat starch with potato starch at the assessed levels did not have a significant effect on the adhesiveness and springiness of the produced samples. The interaction effect of

1. MSc, Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, and Laser and Biophotonics in Biotechnologies Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
(*Corresponding Author Email: mgolifood@yahoo.com)

sucrose substitution with sucralose-isomalt and wheat starch with potato starch showed that, in 75% level of wheat starch substitution with potato starch and 25% sucrose substitution with sucralose-isomalt had a significant effect on reducing hardness and softening samples. Treatments obtained by the model contain 62% sucrose substitution with sucralose-isomalt , 40% wheat starch substitution with potato starch and 0.46% *Ganoderma lucidum* and 52% sucrose substitution with sucralose-isomalt, 36% wheat starch substitution with potato starch and 0.53% *Ganoderma lucidum*, were introduced as optimal samples to maintain the quality characteristics and increase Masghati nutritional value. Considering the results, substitution a part of the sucrose with sucralose-isomalt and using *Ganoderma lucidum* in Masghati formulation led to a successful reduction of total sucrose, and an increment of protein and vitamin D.

Keywords: DietaryMasghati, Substitution, Sucralose-isomalt, Potato starch, G*anoderma lucidum*, Optimization.